

三波長合成ハイパワー白色 LED による果菜類栽培の研究

第三技術室システム制御班

岡井善四郎

【はじめに】

近年、地球温暖化の影響と思われる異常気象が、世界中で頻発してきている。また人口の急激な増加により食糧調達のため、森林伐採、灌漑用水などで耕地を増大させてきた。収量を上げるため多くの化学物質（肥料・農薬）とエネルギーを使用してきた。日本も例外ではなく、さらに大量の食糧を海外にたよっており、フードマイレージ¹⁾も世界でトップクラスである。食糧の自給率を上げるためには、耕地の確保、環境汚染、労働力など多くの問題が待ち受けている。

このような状況のもとで、天候に左右されることなく、自然環境を保持し増産できる栽培の一つに、完全制御型人工栽培システムとして、植物工場が世界中で注目されてきている。葉菜類については研究が進み、赤色 LED 照射によるレタス等の栽培は全国 6 箇所で稼働中である。しかし LED 照射のみによる果菜類栽培についてはほとんど行われていないのが現状である。本研究では栽培用光源に最近開発され販売されている、三波長合成ハイパワー白色 LED を用い、果菜類栽培について最適栽培条件を見出すことを目的とする。

【研究方法】

発光ダイオード (LED) の開発が盛んに行われ、赤色以外でも高出力化と価格低下が進んできている。白色 LED には①青色 LED と黄色の蛍光体の合成によって発光するものと、②光の三原色の合成

によって白色発光するもの、③青色 LED または、紫外 LED に赤、緑蛍光体を使用して超高輝度を実現した LED の三種類が市販されている。果菜類の栽培では、葉菜類と比べて光量、光合成有効光量子束密度 (PPFD) を葉菜類

の $50 \mu\text{mol}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$ より多く必要とする ($500 \mu\text{mol}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$ 以上)。

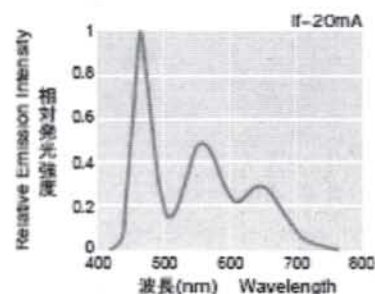
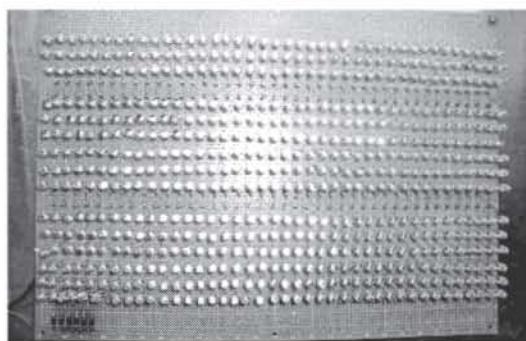
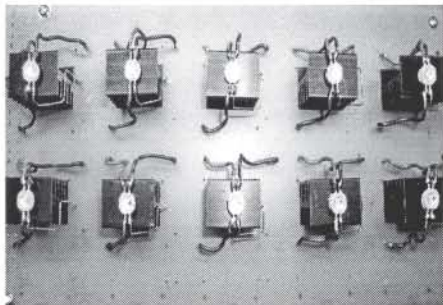


図 1 ③の白色 LED 使用光源パネルとその発光スペクトル



Wavelength Characteristics, $T_j=25^{\circ}\text{C}$

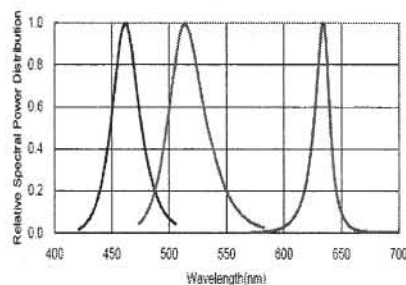


図2 ②の白色LED使用光源パネルとその発光スペクトル

本研究では後者のLEDのなかで③のLEDを主栽培用光源として用いる。図1は、今回新たに製作した光源パネルとその発光スペクトルを示す。図2は、補助光源として使用した②のLED10個を使用した光源パネルとその発光スペクトルである。スペクトルから分かるように、これらのLEDは緑

色を含んでおり（最近の研究から、これまで光合成には不要であるといわれていた緑色であるが、葉緑素が多くなると、一部の光は吸収されて光合成に寄与している）^{2),3)}、人工光源として唯一太陽光に近いインコヒーレントな光源である。供試植物としてトマト、ナスを選定し、太陽光との差異を栽培実験から確かめる。同時にこれまで使用した赤、青色LED照射による栽培との差異を体型、果実の糖度、酸度、大きさを調べる。栽培装置は一昨年製作した完全制御型植物育成装置（温湿度、 CO_2 濃度制御可能）を活用する⁴⁾。容積も350Lでトマトの2段栽培には、高さ幅も十分備えている。栽培方法は土壌栽培より優れた特徴を有している水耕栽培を取り入れる。肥料には水耕栽培用肥料として市販されている大塚ハウス1号、2号を調合して用いる⁵⁾。

日本では果菜類を製品として出荷するには、検査が非常に厳しく品質の良さが問われる。トマトでは形状はもちろん、味を構成する糖度と酸味の比率が多様な好みに答える要素となる。葉緑素計で光合成の状態をモニターしながら、糖度5度以上、酸度0.4%以上を目標に栽培を進める。また、pH計、で養液を監視しながら栽培条件を変えて、最適栽培条件を見出していく。

【結果、および考察】

図3は トマトの花芽形成が行われた時期の、光質の違いによる葉緑素の測定結果の一例である。

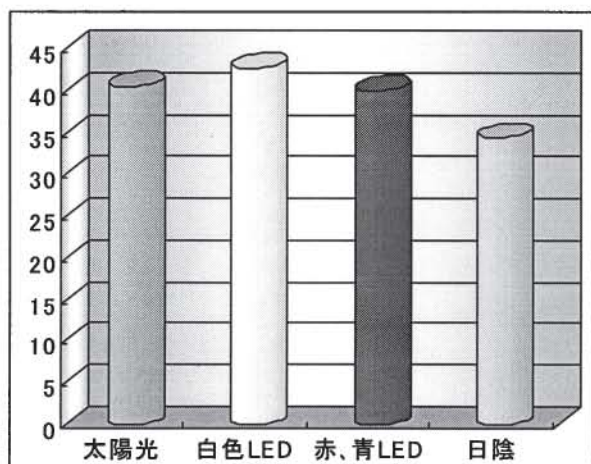


図3 光質の違いによる葉緑素の測定結果



図4 花芽形成と着果の状態

測定方法は光の当たっている葉 1 枚につき 30 箇所の測定を行い、5 枚、計 150 箇所の測定値の平均を取った。日陰の他はどの光も葉緑素の値に大差なく、光合成が行われていたことが分かる。

トマトは太陽光栽培において、水耕栽培と室内の温度管理が幸いして、無限成長の性質を生かして、4 月から 11 月末まで（収穫は 7 月～11 月末）栽培することができた。育成装置内では、高さに限度があるため 2 段栽培で行った。花芽形成、着果とも図 4 に示すように大差はなかった。しかし最終的には図 5、図 6 に示すように果実の大き

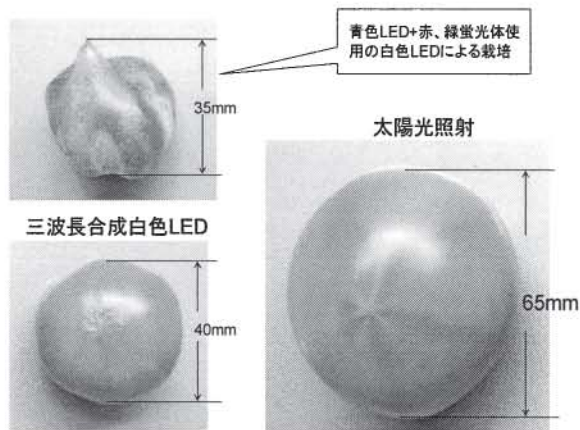


図 5 太陽光と 2 種類の白色 LED による栽培の果実

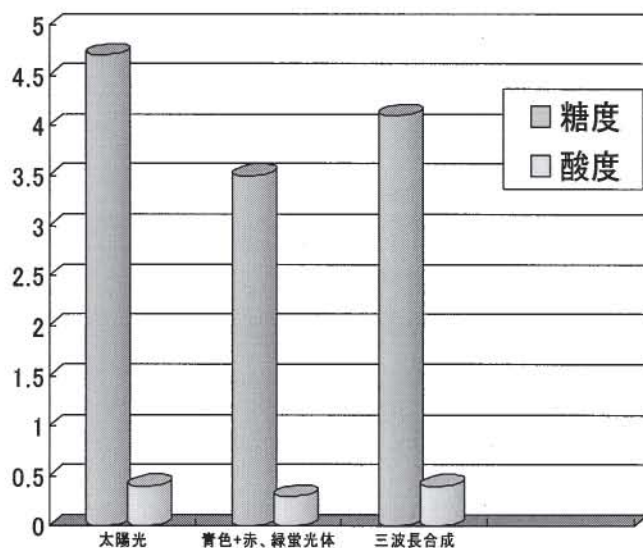


図 6 太陽光と 2 種類の白色 LED による糖度、酸度



図 7 太陽光でのナスの栽培

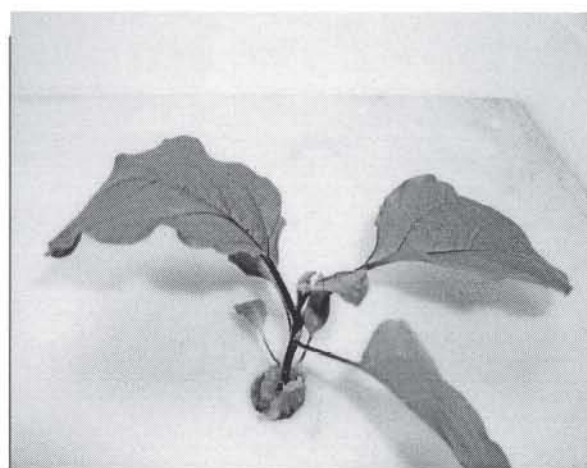


図 8 ③の青 LED+赤、緑蛍光体による栽培

さ、糖度、酸度の点で太陽光栽培より劣った。第一の原因として考えられることは、窓ガラスを通しての太陽光の光量 ($1,500 \mu\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)、と③の LED の光量 ($350 \mu\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ LED 面より 10cm での測定) の違いが大きな原因と考えられる。そこで図 2 に示した②の LED を使用して試作した光源パネルを ($500 \mu\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ LED 面より 10cm での測定) 補助光源として用いたところ、図 5、6 のように果実の大きさ、糖度、酸度とも改善された。図 7 は播種 1 ヶ月後の太陽光でのナスの栽培の様子を示す。窓際でも光が十分当たれば栽培可能なことが分かった。図 8 は③の白色 LED で播種 1 ヶ月経過のナスである。他の栽培条件はほぼ同一条件に設定した。違いは光量の差である

ナスもトマトと同様無限成長であるため5月に定植し、11月末まで収穫できた。窓を通しての光なので紫外線が不足し、ナス特有の紫色のアントシアニンが合成されず、色の薄いものとなったが、近紫外 LED、ブラックライトを併用し、1日二、三時間照射することで、図9のように本来の色になった⁶⁾。

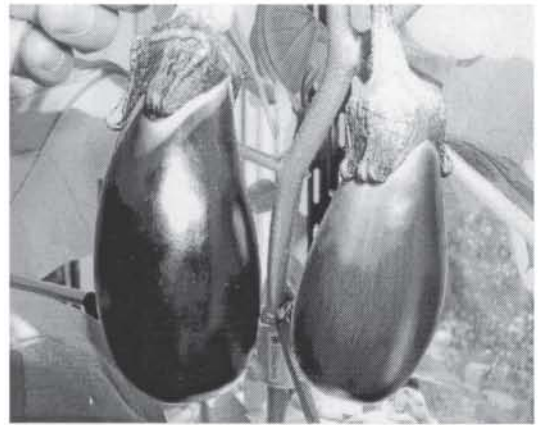


図9 紫外光照射によるナスのアントシアニン増加

【まとめ】 本研究で使用した③の白色LEDは、果菜類栽培では太陽光と比べて光量不足であるため、果菜類栽培にはあまり適さないことが分かった。対して②の光の三原色の合成によって白色発光するLEDは光量も $500\mu\text{mol}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$ と多く、有望な光源であることが確かめ

られた。しかし、このLEDの欠点としては、現在まだ価格が1個2,200円と非常に高く、果菜類植物工場の光源としての使用は植物育成蛍光灯や、ナトリウムランプと比べて太刀打ちできない状況である。果菜類の大半は、葉菜類と比べて植物体型が1m以上と大きくなるので、生育につれて上部照射だけでは間に合わなくなり、全方向からの照射が必要となってくる。今回の栽培では、上部と両サイドからの照射だけだったので、光量不足は免れず、トマトについては、果実が小さめ、糖度、酸度とも、太陽光より若干劣った。図5に示す③の青色LED+赤、緑の白色LEDで果実が特殊な体型となった。これは青色が多いLEDと、水耕栽培で殺菌の進入が考えられる。この対策として化学肥料一辺倒の水耕栽培を改め有機物を活用した水耕栽培に改める。

冒頭でも述べたが、日本では製品として出荷するには条件が厳しいため、まだまだクリアしなければならない多くの課題がある。果菜類植物工場実現のためには、光量を多く必要とするため、まず、LEDの価格低下があげられる。次に間欠照射方式を取り入れて、LED1個あたりの尖頭値を高め光合成の光化学反応時間に効率よく光を照射できるようにする。

【謝辞】

本研究は科学研究補助金「奨励研究」課題番号18922005の補助を受けて行いました。本研究を進めるにあたって、原子力安全工学専攻（量子エレクトロニクス研究室）の仁木秀明教授、金邊忠助教授のお二人の先生方には実験室のご提供と、CCD分光器をはじめ、研究に必要な測定機器を使用させて頂きました。また、光産業創成大学院大学教授山中正宣先生にはこの研究に対してご推薦を頂きました。以上の先生方に記して感謝いたします。

参考文献

- 1) フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』
- 2) <http://www.aichi-c.ed.jp/contents/rika/koutou/seibutu/se2/photo/photo.htm> (光合成の定性的実験)
- 3) 高辻正基；植物工場の基礎と実際，裳華房 p78～80 (2006)
- 4) 岡井善四郎；廃棄冷蔵庫を利用した完全制御型植物育成装置の製作と植物栽培の研究，福井大学技術部・技術報告集，Vol 10 71－72 (2003)
- 5) <http://chemical.otsukac.co.jp/products/agli/hiryo.html> 大塚ハウス肥料案内
- 6) 岡井善四郎；近赤外・紫外光が植物の生育に与える影響，福井大学技術部・技術報告集，33－38 (2003)